Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Water and Soil Conservation

Print ISSN: 2322-2069
Online ISSN: 2322-2794

Investigating the effectiveness of different types of conservation treatments in controlling the soil nutrients loss from sideslopes of forest roads

Aidin Parsakhoo[*1], Seyed Ataollah Hosseini[2]

1. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Forestry, Faculty of Forest Sciences, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. E-mail: parsakhoo@gau.ac.ir
2. Professor, Dept. of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran. E-mail: at.hosseini@ut.ac.ir

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 07.12.2022
Revised: 05.03.2023
Accepted: 09.04.2023

Keywords:
Cutslope,
Fillslope,
Geo-cell,
Loss of organic matter,
Shastkalateh forest

ABSTRACT

Background and Objectives: In the mountainous forests of northern Iran, without the help of nature and the intervention of experts, there is no possibility of early stabilization of shallow landslide spots where the rich soil of the forest is often wasted due to leaching. Therefore, in this situation, timely implementation of soil protection techniques and identification of their effectiveness becomes necessary, especially in the steep sideslopes of forest roads.

Materials and Methods: In this research and along the network of forest roads of Shastkalateh plan of Golestan province, the location of earthen seideslopes, including cutslope and fillslopes with a slope of 45-60 degrees, was recorded with the help of GPS. Then, hydromulching operation with hydromulch, absorption bag, geo-cell, stabilization with geotextile, dead hedge, and alive hedge with 4 repetitions were carried out on the road sideslopes. 4 replications were also examined as controls without any treatment. Sampling was carried out by placing traps in the side air and at the beginning (retention trap) and the end of treated and control plots. At the end of a 6-month period (autumn and winter), five samples of sediments accumulated in the traps were collected to measure the amount of nitrogen, phosphorus, potassium and organic matter elements. The amount of absorbable potassium was determined by the ammonium acetate and chloride method, the amount of absorbable phosphorus was determined by the spectrophotometer method, the percentage of total nitrogen was determined by the Kjeldahl method, and the percentage of organic matter was determined by the nitration method.

Results: The results showed that the loss of soil nutrients, especially organic matter and nitrogen, from the surface of the cutslope was more than that of the fillslope. While in geo-cell treatment, there was no significant difference between the loss of soil nutrients from the surface of cutslope and fillslope. The highest loss of soil nutrients was observed in the control treatment. In total, geo-cell treatment (83.7 percent) and alive hedge (75.2 percent) are the most efficient treatments, and hydromulch treatment (45.3 percent) and absorption bag (53.2 percent) are the most ineffective treatments in order to control nutrient loss.

Conclusion: Soil stabilization methods can preserve soil nutrients, prepare a suitable substrate for the regrowth of native plants, preserve soil

microorganisms, and increase the resistance of road construction with minimal costs. The ability of soil protection methods to prevent runoff, sediments and loss of nutrients is different, and this depends to a large extent on the climatic conditions of the region. It was concluded that geo-grid and water absorption bags can be used to control soil nutrient loss from forest road sideslopes.

Cite this article: Parsakhoo, Aidin, Hosseini, Seyed Ataollah. 2023. Investigating the effectiveness of different types of conservation treatments in controlling the soil nutrients loss from sideslopes of forest roads. *Journal of Water and Soil Conservation.*

Cite this article: Parsakhoo, Aidin, Hosseini, Seyed Ataollah. 2023. Investigating the effectiveness of different types of conservation treatments in controlling the soil nutrients loss from sideslopes of forest roads. *Journal of Water and Soil Conservation*, 30 (2), 141-159.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/jwsc.2023.21327.3644
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۶۹
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۹٤

بررسی کارایی انواع تیمارهای حفاظتی در کنترل هدررفت عناصر غذایی خاک ترانشه‌های جاده‌های جنگلی

آیدین پارساخو*[۱]، سید عطاله حسینی[۲]

۱. نویسنده مسئول، دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده علوم جنگل، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. رایانامه: parsakhoo@gau.ac.ir

۲. استاد گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. رایانامه: at.hosseini@ut.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۰۱/۰٤/۲۱
تاریخ ویرایش: ۰۲/۰۲/۱۳
تاریخ پذیرش: ۰۲/۰٦/۱۳

واژه‌های کلیدی:
تثبیت سلولی،
ترانشه خاکبرداری،
ترانشه خاک‌ریزی،
طرح شصت‌کلاته،
هدررفت مواد آلی

چکیده

سابقه و هدف: در جنگل‌های کوهستانی شمال ایران، بدون یاری به طبیعت و دخالت متخصصین امکان تثبیت زودهنگام لکه‌های رانشی که غالباً در آن‌جا هدررفت خاک غنی جنگل در اثر آبشویی به وقوع می‌پیوندد، وجود ندارد. بنابراین در این شرایط اجرای به‌موقع فنون حفاظت خاک و شناسایی کارایی آن‌ها به‌ویژه در محل ترانشه‌های پرشیب جاده‌های جنگلی ضرورت پیدا می‌کند.

مواد و روش‌ها: در طول شبکه جاده‌های جنگلی طرح شصت‌کلاته استان گلستان، موقعیت مکانی ترانشه‌های خاکی رانشی اعم از خاکبرداری و خاک‌ریزی با شیب ٦۰-٤٥ درجه به کمک GPS ثبت شد. سپس، عملیات هیدرومالچینگ با خاک‌پوش مایع، نصب بالشتک، تثبیت سلولی، تثبیت با زمین‌پارچه، چپر مرده، چپر زنده با ٤ تکرار در پلات‌هایی به ابعاد ۳۰ مترمربع روی ترانشه‌ها انجام پذیرفت. ٤ تکرار نیز به‌عنوان شاهد بدون هرگونه تیمار موردبررسی قرار گرفت. نمونه‌برداری از طریق تله‌گذاری در جوی کناری و در ابتدا (تله مهار) و انتهای ترانشه‌های تیمار شده و شاهد اجرا گردید. در پایان یک دوره ٦ ماهه (پاییز و زمستان) پنج نمونه از رسوبات انباشته‌شده در تله‌ها به‌منظور اندازه‌گیری مقدار عناصر نیتروژن، فسفر، پتاسیم و ماده آلی جمع‌آوری شد. مقدار پتاسیم قابل‌جذب با روش استات آمونیوم و کلراید، مقدار فسفر قابل‌جذب با روش اسپکتروفتومتر، درصد ازت کل با روش کجلدال و درصد ماده آلی به روش نیتراسیون تعیین شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که مقدار هدررفت مواد مغذی خاک به‌ویژه مواد آلی و ازت از سطح ترانشه خاکبرداری بیش‌تر از ترانشه خاک‌ریزی بود. درحالی‌که در تیمار تثبیت سلولی هیچ تفاوت معنی‌داری بین مقدار هدررفت عناصر غذایی از سطح ترانشه‌های خاکبرداری و

خاک‌ریزی وجود نداشت. بیش‌ترین مقدار هدررفت عناصر غذایی خاک در تیمار شاهد ملاحظه گردید. درمجموع تیمار تثبیت سلولی (۸۳/۷ درصد) و چپر زنده (۷۵/۲ درصد) کارآمدترین تیمارها و تیمار خاک‌پوش مایع (٤٥/۳ درصد) و تثبیت بالشتکی (۵۳/۲ درصد) ناکارآمدترین تیمارها برای کنترل هدررفت عناصر غذایی خاک از ترانشه‌های جاده‌های جنگلی بودند.

نتیجه‌گیری: روش‌های تثبیت خاک می‌توانند باعث نگهداشت عناصر غذایی خاک، آماده‌سازی بستر مناسب برای رویش مجدد گیاهان بومی، حفظ میکروارگانیسم‌های خاک و افزایش مقاومت ساختمان جاده با حداقل هزینه‌ها شوند. توانایی شیوه‌های حفاظت خاک در جلوگیری از رواناب، رسوبات و تلفات مواد مغذی متفاوت است و این مورد تا حدود زیادی به شرایط اقلیمی منطقه وابسته است.در پژوهش حاضر مشخص شد که روش‌های تثبیت سلولی و چپرزنده را می‌توان برای تثبیت ترانشه‌های خاکی جاده‌های جنگلی پیشنهاد نمود.

استناد: پارساخو، آیدین، حسینی، سیدعطاالله (١٤٠٢). بررسی کارایی انواع تیمارهای حفاظتی در کنترل هدررفت عناصر غذایی خاک ترانشه‌های جاده‌های جنگلی. *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*.

استناد: پارساخو، آیدین، حسینی، سید عطاالله (۱۴۰۲). بررسی کارایی انواع تیمارهای حفاظتی در کنترل هدررفت عناصر غذایی خاک ترانشه‌های جاده‌های جنگلی. *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۳۰ (۲)، ۱۵۹-۱۴۱.

DOI: 10.22069/jwsc.2023.21327.3644

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

© نویسندگان.

مقدمه

جاده‌های جنگلی از ضروری‌ترین طرح‌های مدیریت واحدهای جنگلی محسوب شده و در حمل‌ونقل چوب و استفاده از سایر خدمات جنگل نقش ویژه‌ای را ایفا می‌کنند. رانش شامل همه حرکات و گسیختگی‌های شیب اعم از سطحی و عمقی نسبتاً سریع است که تحت‌تأثیر غلبه نیروهای محرک بر نیروهای مقاوم به وقوع می‌پیوندد (۱). این پدیده در حاشیه جاده‌های جنگلی کوهستانی که دارای ترانشه‌های بلند و پرشیب می‌باشند به‌وفور به چشم می‌خورد (۲). در جاده‌های جنگلی استان گلستان و در شیب‌های تند، توده‌های خاک رانشی به‌شدت حساس به فرسایش بوده و با کم‌ترین جریان رواناب اشکال گوناگون فرسایش را نشان خواهد داد. از بین رفتن بافت اسفنجی افق فوقانی و پراکندگی افق‌های خاک در اثر جاده‌سازی باعث ممانعت از نفوذ آب به افق‌های تحتانی ترانشه‌ها شده و درنتیجه آثار فرسایش و تخریب بروز می‌کند (۳ و ٤). فرسایش خاک هدررفت عناصر مغذی خاک را نیز به‌همراه دارد که سبب کاهش حاصلخیزی و پتانسیل رویشی گیاهان مستقر روی شیب‌های جانبی جاده خواهد شد (۵ و ٦). کاهش حاصلخیزی خاک به دلیل انتقال مواد آلی و عناصر غذایی ازجمله نیتروژن، فسفر و پتاسیم به‌صورت محلول در رواناب و یا چسبیده به رسوب اتفاق می‌افتد (۷ و ۸). انتقال عناصر غذایی محلول به آب‌های جاری در جنگل‌ها می‌تواند به یک چالش زیست‌محیطی بزرگ تبدیل شود. رسوبات ناشی از خاک‌های فرسایش‌یافته براساس مقدار عناصر همراه خود اثرات متفاوتی بر محیط‌زیست دارند. بنابراین اطلاع از هدررفت عناصر غذایی خاک معیاری مناسب برای ارزیابی سلامت اکوسیستم‌ها، برنامه‌ریزی حفاظت آب‌وخاک است (۹ و ۱۰). خزایی و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی تأثیر تخریب جنگل بر میزان هدررفت عناصر غذایی خاک در حوزه آبخیز جنگلی کجور پرداختند. نتایج نشان داد که میزان هدررفت کربن، نیتروژن، فسفر و پتاسیم در اراضی تخریب‌شده جنگلی مانند شیب‌های مشرف‌به جاده‌های جنگلی به‌ترتیب ۳، ۲، ۱/۱ و ۱/٤ برابر بیش‌تر از منطقه شاهد (جنگل دست‌نخورده) بود (۸). نتایج پژوهش‌های رمایی (۲۰۱۵) راجع به اثر شیب بر هدررفت خاک و عناصر غذایی منطقه کلاله استان گلستان، وجود همبستگی مثبت و معنی‌دار مقدار هدررفت عناصر غذایی و درصد شیب را تأیید نمود (۱). براساس برآورد پناهی (۲۰۰۵) ارزش حفظ عناصر غذایی توسط جنگل‌های شمال، سالانه بیش از ۹۳۰۰ دلار در هکتار است (۱۱). فرسایش خاک به‌طور یقین یکی از مهم‌ترین مشکلات زیست‌محیطی جاده‌های جنگلی است که از گذشته وجود داشته و بنا به دلایل متعددی ازجمله خلأ مدیریتی دوران طرح تنفس امروز گسترش‌یافته است. بنابراین با حفاظت خاک شیب‌های اطراف جاده‌های جنگلی می‌توان باعث نگهداشت عناصر غذایی خاک، آماده‌سازی بستر مناسب برای رویش مجدد گیاهان بومی، حفظ میکروارگانیسم‌های خاک و افزایش مقاومت ساختمان جاده با حداقل هزینه‌ها شد (۱۲ و ۱۳). گوبیناتو همکاران (۲۰۲۱) از طریق تثبیت خاک با ریشه گیاهان به بررسی تغییرات مقاومت در خاک پرداختند. نتایج نشان داد ریشه علف لیمو در ماتریکس خاک باعث بهبود پایداری خاک می‌شود. درنتیجه، ریشه‌های گیاهی موردمطالعه می‌توانند مواد ارزان‌قیمتی برای بهبود پایداری دامنه‌ها، به‌ویژه در مناطق آسیب‌دیده از زمین‌لغزش باشند (١٤). پرهیزکار و همکاران (۲۰۲۱) گزارش کردند که هیدرومالچ روشی مناسب برای کنترل فرسایش است، اما پژوهش‌های کمی برای ارزیابی اثربخشی هیدرومالچ در کنترل فرسایش رودخانه‌ای در مناطق جنگل‌زدایی انجام شده است. در این پژوهش که در دامنه‌های جنگل‌های شمال ایران انجام گرفت مشخص شد که فرسایش‌پذیری خاک

تیمارشده با هیدرومالچ به‌طور قابل‌توجهی کم‌تر از خاک لخت بود (۱۵). در مناطق جنگلی با شرایط اکولوژیکی سخت، مانند نیمرخ جنوبی و ارتفاعات بالای نیمرخ شمالی البرز و جنگل‌های غرب، بدون یاری دادن به طبیعت و فعالیت‌های مرمت و مقاوم‌سازی، امکان تثبیت سریع و به‌موقع ترانشه‌های رانشی خصوصاً ترانشه‌های خاک‌برداری به‌طور طبیعی و به‌راحتی ممکن نیست و محل رانش‌های سطحی در ترانشه‌ها حداقل تا چند ماه فاقد پوشش خواهد ماند و به محل فرسایش و هدررفت عناصر غذایی خاک در عرصه جنگل مبدل خواهد شد (۲ و ۱۶). نتیجه یک مطالعه موردی در جنگل‌های شیمبار استان خوزستان نشان داد که حفظ پوشش گیاهی و جنگل و یا به‌عبارت‌دیگر اجرای تیمارهای حفاظت خاک قادر است از خسارت ناشی از هدررفت تنها سه عنصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم به میزان سه میلیون تومان در هکتار جلوگیری کند (۱۷). شائو و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی اثر دو تیمار حصیر کنفی و شبکه پلی‌استر در کنترل هدررفت خاک در دیواره‌های خاک‌برداری در منطقه نیمه‌خشک شمال پکن در کشور چین پرداختند. نتایج نشان داد که حصیر کنفی و شبکه پلی‌استر، به ترتیب مقدار رسوب را به میزان ۹۹/۴ و ۵/۵ درصد کاهش دادند (۱۳). یوسفی و همکاران (۲۰۱۶) در پژوهش‌های خود نشان دادند که ویژگی‌های فرسایش سطحی در طبقات مختلف ارتفاعی، شیب، جهت و طبقات سنی جاده‌های جنگلی به ترتیب در سطح پنج، پنج، یک و پنج درصد اختلاف معنی‌داری دارند. خواص فیزیکی و شیمیایی خاک در مناطق فرسایش، مناطق غیرفرسایش و مناطق شاهد تفاوت معنی‌داری را در pH، موادآلی خاک، سیلت، رس، نیتروژن و فسفر نشان داد (۱۸). استفاده از خاک‌پوش مایع[1]، چپر زنده و چپر مرده، روش‌های تثبیت سلولی و بالشتکی و نصب زمین‌پارچه[2] از جمله روش‌های پرطرفدار تثبیت شیب‌های ناپایدار هستند (۱۹ و ۲۰)؛ اما متأسفانه اجرای فنون زیست‌مهندسی برای تثبیت و مرمت شیب‌های مشرف‌به جاده‌های جنگلی علی‌رغم مقرون‌به‌صرفه بودن و سازگاری با محیط‌زیست در درجه اول به دلیل مسائل اقتصادی و سپس به دلیل اطمینان نداشتن از کارآمدی، دوام، دشواری تهیه مواد اولیه، ظرافت طراحی و ساخت و فقدان دانش کافی در رابطه با مزیت‌های آن مغفول باقی مانده است (۲۱). کایرنس (۱۹۹۴) گزارش کرد که اگر هزینه زیست‌مهندسی در هر متر ۱۰ دلار باشد، هزینه تثبیت مکانیکی چهار برابر بیش‌تر خواهد بود (۲۰). لازم به ذکر است که روش‌های چپرزنده، چپر مرده، تثبیت بالشتکی به‌صورت سیستم حفاظتی خطی و تک‌بعدی بوده و روش هیدرومالچ نیز نقطه‌ای- لکه‌ای و پراکنده است اما روش‌های تثبیت سلولی دارای سیستم حفاظتی دوبعدی و زمین پارچه سه‌بعدی است. بررسی منابع داخلی و خارجی حاکی از وجود گپ تحقیقاتی در بررسی و مقایسه تأثیر سامانه‌های خطی، نقطه‌ای- لکه‌ای و چندوجهی در حفاظت از ترانشه‌های خاکی جاده‌های جنگلی است که در این طرح به آن‌ها پرداخته شد. از نوآوری‌های پژوهش حاضر می‌توان به استفاده و مقایسه هم‌زمان چند نوع تیمار زیست‌مهندسی اشاره کرد. لازم به ذکر است که برخی از این تیمارها برای نخستین بار در جاده‌های جنگلی شمال کشور به کار گرفته شده‌اند. هدف از پژوهش حاضر بررسی عملکرد انواع تیمار زیست‌مهندسی هیدرومالچ، تثبیت سلولی[3]، تثبیت بالشتکی، چپر زنده، چپر مرده و زمین‌پارچه در کاهش هدررفت عناصرغذایی خاک (مواد آلی، نیتروژن، فسفر و پتاسیم) ترانشه‌های رانشی خاکبرداری و خاک‌ریزی جاده‌های جنگلی بود.

1- Hydro mulch

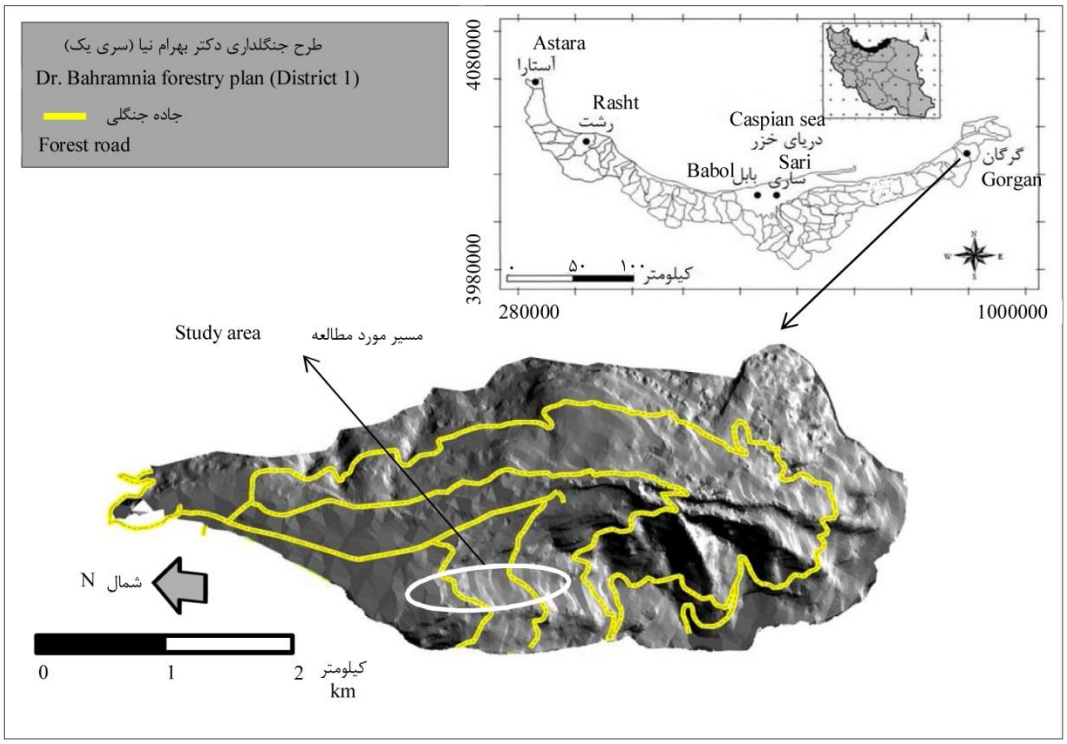
2- Geo-textile

3- Geo-cell

مواد و روش‌ها

منطقه موردمطالعه در این پژوهش، شصت‌کلاته (سری یک) در جنگل‌های هیرکانی گرگان است، بدین‌منظور قسمت‌هایی از جاده‌های جنگلی این سری انتخاب شد (شکل ۱، جدول ۱). زمین‌شناسی مناطق موردمطالعه از نوع سنگ مادری شیل همراه با ماسه‌سنگ آهکی و کنگلومرای دوران ژوراسیک بوده و ازنظر نفوذپذیری سنگ مادری ضعیف تا متوسط می‌باشد (کتابچه طرح‌های جنگلداری شصت‌کلاته).

حرکت‌های دامنه‌ای با توجه به سنگ بستر ناپایدار شیست سبز گرگان در حضور رطوبت محیطی رخ می‌دهد و باعث جابجایی دامنه در شکل‌های مختلف با حجم‌های متفاوت می‌شود. نوع پرسرعت آن شامل رانش بوده که در بهار و در دوره‌های ترسالی باعث شکستگی و جابجایی در سطح توده‌های بزرگ و کوچک شده‌اند و در نوع کم سرعت آن پدیده خزش بوده که باعث خم‌شدگی یقه درختان شده است.



شکل ۱- موقعیت مناطق مورد مطالعه.

Figure 1. Position of the study area.

جدول ۱- مشخصات مناطق مورد مطالعه.

Table 1. Characteristics of study area.

مشخصات Characteristics	جنگل شصت‌کلاته Shastkalateh forest
مساحت (هکتار) Area (ha)	1713
طول کل جاده‌ها (متر) Road length (m)	30300
زمان ساخت جاده Time of Road construction	1968
طول و عرض جغرافیایی Latitude and longitude	N´36° 43 to´36° 48 E´54° 21 to´54°24
ارتفاع از سطح دریا (متر) Elevation (m)	210-995
میانگین بارندگی سالانه (میلی‌متر) Mean annual rainfall (mm)	580
میانگین درجه حرارت سالیانه (°C) Mean annual temperature (°C)	15.4
خاک Soil	قهوه‌ای و قهوه‌ای خاکستری (طبقه‌بندی یونیفاید ML و GM-GC) Brown and gray brown soil (ML and GM-GC)
شیوه جنگلشناسی Silviculture method	تک‌گزینی Single tree selection cutting
شیب متوسط (درصد) Mean slope (%)	25
اقلیم Climate	مدیترانه‌ای (دومارتن) Mediterranean (De Martonne)
گونه‌های غالب Dominant species	راش، ممرز، انجیلی Beech, Hornbeam, Ironwood

در طول شبکه جاده‌های جنگلی سری موردمطالعه، موقعیت مکانی ترانشه‌های خاکی مستعد فرسایش آبی و رانشی که ازنظر مشخصات عمومی شیب، ارتفاع، جهت، خاک و زمین‌شناسی از شرایط تقریباً یکسانی برخوردار بودند، به کمک GPS ثبت شد. یکسان بودن شرایط خاک مناطق موردمطالعه از طریق بررسی‌های آزمایشگاهی تأیید گردید. درمجموع ۷۰ ترانشه خاکی رانشی با شیب ٦٠-٤٥ درجه در دامنه‌های شمالی مناطق یادشده شناسایی شد. قدمت این ترانشه‌های رانشی کم‌تر از ۵ سال بود. درمجموع، طول جاده‌های موردمطالعه یک کیلومتر و از نوع درجه دو با عرض بستر ۵/۵ متر بودند. سپس ١٦ ترانشه هر یک با حداقل مساحت قابل کار ۳۰ مترمربع انتخاب شد. نیمی از ترانشه‌ها مربوط به‌سمت خاکبرداری و نیم دیگر مربوط به خاک‌ریز بود. این پروژه در قالب طرح بلوک کامل تصادفی با دو بلوک به اجرا درآمد (۲۲). در هر بلوک ۲ تیمار زیست مهندسی هر یک با حداقل ٤ تکرار انجام شد (شکل ۲). تعداد دقیق نمونه با در نظر گرفتن ٪۸ ± =$E_{95\%}$ از رابطه ۱ محاسبه شد:

$$n = \frac{t^2 \times (S_X)^2}{(E)^2} \qquad (۱)$$

که در آن، n تعداد مناسب نمونه، S_X انحراف معیار آماربرداری اولیه بر حسب درصد (٤ نمونه)، E اشتباه آماربرداری بر حسب درصد و t آماره‌ای با مقدار عددی ۲ است.

به‌منظور کنترل هدررفت عناصر غذایی خاک ترانشه‌های رانشی جاده‌های جنگلی مناطق مورد مطالعه تیمارهای حفاظتی زیر مورد استفاده واقع شد:

خاک‌پوش مایع (هیدرومالچ): هیدرومالچ دوغابی مرکب از ملاس، پلی‌اکریل‌آمید، خرده چوب و آب است. در این پژوهش ابتدا روی ترانشه‌های خاکبرداری و خاکریزی، خراش‌های موازی به فاصله ۳۰ سانتی‌متر از یکدیگر و عمق ۱۰ سانتی‌متر در امتداد خطوط منحنی میزان ایجاد شد و سپس عملیات هیدرومالچینگ توسط دستگاه هیدرومالچر به میزان ۳۰۰ گرم در مترمربع انجام پذیرفت (۲۳ و ۱۳).

تثبیت بالشتکی: در این عملیات بالشتک‌های کنفی با قطر ۳۰ سانتی‌متر و طول ۳ متر از کاه خرد شده پر شدند. جرم بالشتک‌های تولید شده ۲۰۰۰ گرم در متر بوده و به موازات هم و با فاصله یک و نیم متر از یکدیگر بر روی ترانشه‌های خاکبرداری و خاکریزی نصب شد. برای نصب بالشتک‌ها شیاری به عمق ۱۵ سانتی‌متر ایجاد گردیده و سپس بالشتک‌ها توسط میخ‌های چوبی درون شیارها نصب شدند (۲٤).

تثبیت سلولی: در این عملیات به کمک تخته چوب‌هایی به طول ۳ متر و عرض ۲۵ سانتی‌متر اقدام به ایجاد شبکه سلولی با سلول‌هایی به ابعاد ۵۰ × ۵۰ سانتی‌متر نموده و سپس تا عمق ۱۰ سانتی‌متر بر روی ترانشه جاده‌های جنگلی نصب گردید (۲٤).

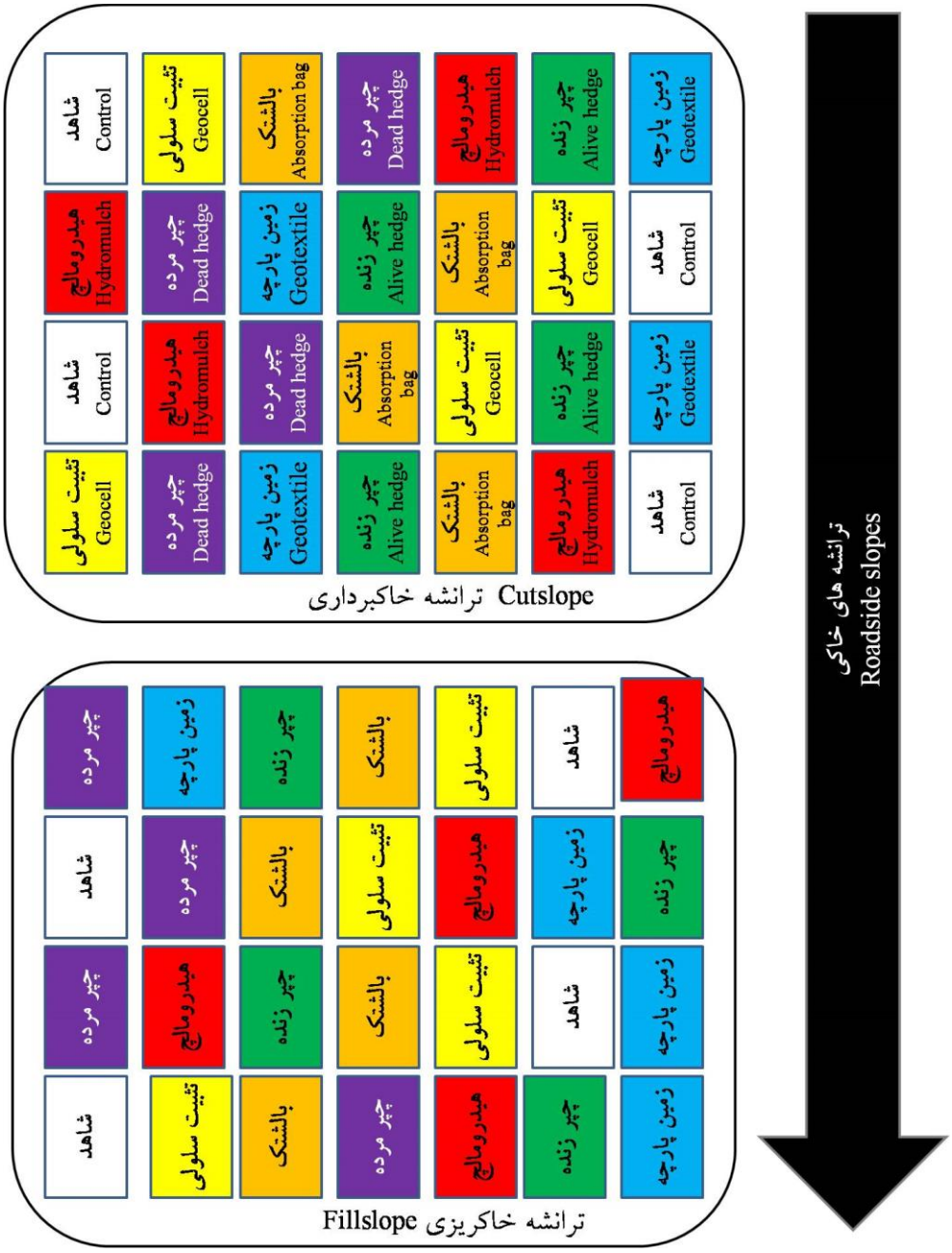
زمین‌پارچه (ژئوتکستایل): زمین‌پارچه کنفی با تار و پود مشخص، ضخامت ۲ میلی‌متر، منافذ ۳×۳ میلی‌متر و جرم ۲۲۰ گرم در مترمربع توسط پیکه‌های چوبی روی ترانشه‌های خاکبرداری و خاکریزی جاده‌ها نصب شد (۲۵).

چپر مرده: ابتدا در این روش، تراس‌هایی به پهنای ۰/٤ متر و به فاصله ۱/۵ متر از یکدیگر روی ترانشه‌هایی که باید تثبیت شوند ایجاد شد. سپس میخ‌های چوبی به قطر ۵ سانتی‌متر و با فاصله یک متر از یکدیگر در امتداد خطوط منحنی میزان روی تراس کوبیده شدند، به‌طوری که ۰/۸ متر از میخ‌ها بیرون تراس واقع شده باشند. سپس چوب‌های خم شونده به قطر حداکثر ۳ سانتی‌متر و طول ۳ متر از لابه‌لای میخ‌ها عبور داده شدند.

چپر زنده: در این روش روی ترانشه‌هایی که باید تثبیت شوند، بانکت‌هایی به عرض ۰/٤ متر، شیب داخلی حداقل ۲۰ درصد در امتداد خطوط منحنی میزان با فاصله یک و نیم متر از یکدیگر ایجاد شده و قلمه درخت بید مشک (*Salix aegyptiaca* L.) از گونه‌های بومی همان جنگل داخل آن‌ها کاشته شد. برای این کار شاخه‌هایی با قطر حدود ۲-۳ سانتی‌متر به‌طوری‌که حداقل سه جوانه داشته باشند تهیه نموده و سپس بالای آخرین جوانه‌ها به‌صورت اریب برش داده شد. قلمه‌ها به‌کمک هورمون محرک ریشه‌دهی تحریک می‌شوند و در مرحله بعد در خاک کاشته شده و فقط یکبار در لحظه کاشت به‌میزان ۲۰ لیتر در هر ردیف یک متری آبیاری شد (۱٦) (شکل ۳).

میزان تحویل رسوب از طریق تله‌گذاری در جوی کناری ترانشه خاکبرداری و جوی مصنوعی ساخته شده در پای ترانشه خاکریزی و در ابتدا و انتهای ترانشه‌های تیمار شده و شاهد انجام پذیرفت (شکل ٤). رسوب بالادست جوی از طریق تله‌های مهار که قبل از تله اصلی نصب می‌گردند از محوطه تیمار حذف شد. تله‌گذاری شامل کندن گودالی استوانه‌ای شکل به قطر ۰/٤ متر (مساحت قاعده: ۰/۱۲۵٦ مترمربع) و عمق ۰/٦ متر جهت جمع‌آوری رسوب می‌باشد. سه نمونه خاک هر کدام با وزن یک کیلوگرم از رسوبات انباشته شده در تله در پایان هر فصل جمع‌آوری شد. نمونه‌های خاک به مدت یک هفته در دمای اتاق خشک شدند. سپس نمونه‌ها توزین و

محتوای مواد مغذی آن‌ها در آزمایشگاه آنالیز شد. مقدار پتاسیم قابل جذب با روش استات آمونیوم و کلراید، مقدار فسفر قابل‌جذب با روش اسپکتروفتومتر، درصد ازت کل با روش کجلدال و درصد ماده آلی به روش نیتراسیون تعیین شد.

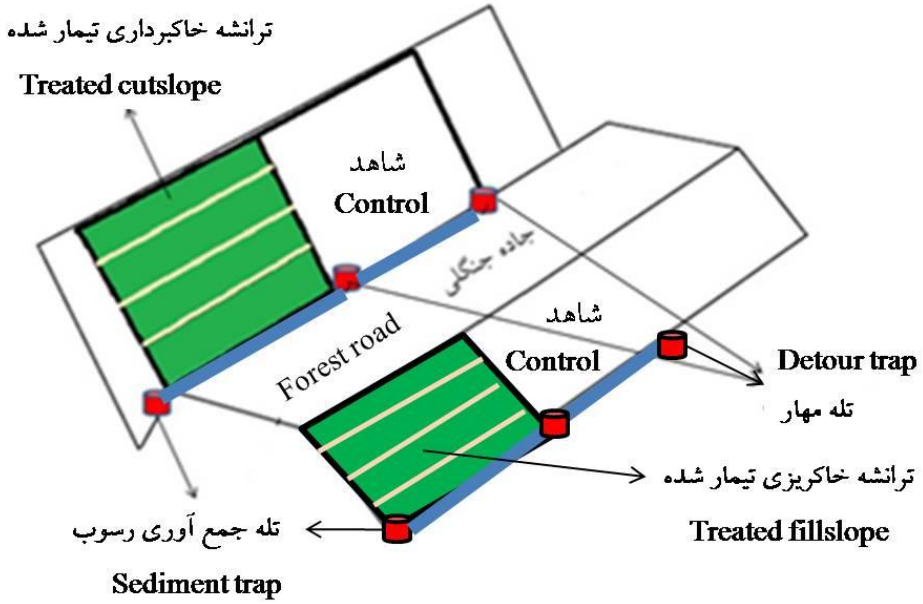


شکل ۲- چیدمان تیمارها در قالب طرح بلوک کامل تصادفی.

Figure 2. Arranging treatments in randomized complete block design.

شکل ۳- انواع تیمارهای زیست‌مهندسی مورد مطالعه شامل (A) هیدرومالچ، (B) چپر زنده، (C) تثبیت سلولی، (D) چپر مرده، (E) تثبیت بالشتکی و (F) زمین‌پارچه.

Figure 3. Different studied bioengineering treatments including (A) Hydromulch, (B) alive hedge, (C) geo-cell, (D) dead hedge, (E) absorption bag and (F) geotextile.



شکل ٤- تله‌گذاری در جوی کناری و در محدوده ترانشه تیمار شده.

Figure 4. Trap installation in the ditch and treated slopes.

تجزیه و تحلیل داده‌ها: مجموعه داده‌ها عبارتند از متغیرهای مستقل شامل تیمارهای زیست‌مهندسی و نوع ترانشه و متغیر وابسته شامل میزان هدررفت عناصر غذایی. نرمال بودن توزیع داده‌ها با آزمون شاپیرو- ویلک (Shapiro-Wilktest) و همگنی واریانس‌ها با آزمون لون (Levene's test) بررسی شد. در رابطه با متغیرهای مستقل از رویه ANOVA و آزمون LSD استفاده گردید. همه تجزیه و تحلیل‌های آماری در نرم‌افزار SAS انجام پذیرفت. در این پژوهش کارایی تیمارها از طریق محاسبه درصد نسبی تغییر مقدار فرسایش خاک ترانشه‌های رانشی با استفاده از رابطه زیر محاسبه شد.

$$V = \frac{Xt-Xc}{Xc} \times 100 \qquad (۲)$$

که در آن، V درصد نسبی تغییر، Xt مقدار هدررفت عناصر غذایی در تیمار حفاظتی و Xc مقدار هدررفت عناصر غذایی در تیمار شاهد می‌باشد.

نتایج و بحث

نتایج تجزیه واریانس نشان داد که اثر نوع تیمارهای حفاظتی، نوع ترانشه و اثر متقابل آن‌ها بر مقدار هدررفت مواد مغذی خاک معنی‌داری بود. البته لازم به ذکر است که اثر مستقل نوع ترانشه بر مقدار هدررفت نیتروژن خاک و هم‌چنین اثر متقابل تیمارهای نوع ترانشه و نوع تیمارهای حفاظتی بر مقدار هدررفت مواد آلی خاک معنی‌دار نبود (جدول ۲). فسفر و پتاسیم به‌واسطه فرسایش به‌راحتی از دسترس گیاه خارج می‌شوند. از آن‌جایی‌که سه عنصر غذایی نیتروژن، فسفر و پتاسیم به‌عنوان عناصر غذایی پرمصرف، از جمله مهم‌ترین عوامل محدودکننده رشد در خاک به‌شمار می‌روند، اگر گیاهی دچار کمبود هر یک از این عناصر شود، در جذب عناصر غذایی کم‌مصرف نیز با اخلال مواجه می‌شود (۲۶). در پژوهشی در جنگل‌های آمیخته پهن‌برگ و سوزنی‌برگ در چین، ارزش نگهداشت سه عنصر نیتروژن، فسفر و پتاسیم ۳۱/۲۵ دلار در هکتار در سال برآورد شده است (۲۷). ناتان و همکاران (۲۰۲۲) حفاظت از خاک و آب و اقدامات مدیریت حاصلخیزی خاک باعث کاهش هدررفت مواد مغذی خاک و تلفات کربن آلی، اختلال در اکوسیستم و صدمات مالی می‌شود (۲۸).

مقایسه گروهی میانگین هدررفت مواد مغذی خاک در تیمارهای مختلف حفاظتی و شاهد نشان داد که در مجموع مقدار هدررفت مواد مغذی خاک به‌ویژه مواد آلی و ازت از سطح ترانشه خاکبرداری بیش‌تر از ترانشه خاکریزی بود. در حالی‌که در تیمار تثبیت سلولی هیچ تفاوت معنی‌داری بین مقدار هدررفت عناصر غذایی خاک از سطح ترانشه‌های خاکبرداری و خاکریزی وجود نداشت. این موضوع نشان‌دهنده آن است که علی‌رغم تفاوت‌هایی که از نظر وزن مخصوص ظاهری خاک و مقدار شیب بین ترانشه‌های خاکبرداری و خاکریزی وجود داشت (شیب و وزن مخصوص ظاهری خاک ترانشه خاکبرداری اندکی بیش‌تر از ترانشه خاکریزی بود)، تیمار تثبیت سلولی توانست با حفاظت دوبعدی خاک مانع از توسعه فرسایش در هر دو ترانشه گردد. بیش‌ترین مقدار هدررفت عناصر غذایی خاک در تیمار شاهد ملاحظه گردید. در تیمار شاهد مقدار هدررفت مواد آلی، ازت، فسفر و پتاسیم از سطح ترانشه خاکبرداری به‌ترتیب ۲۸/۸، ۸/۳، ۰/۰۹ و ۰/۰٤ میلی‌گرم بر مترمربع و از سطح ترانشه خاکریزی به‌ترتیب ۱۲/۲، ٤/۲، ۰/۰۷ و ۰/۰۵ میلی‌گرم در مترمربع بود که در مجموع ۲/۱، ۱/۷، ۱/۸ و ۱/۸ برابر تیمار خاک‌پوش مایع، ۱/۷، ۳/۲، ۳/۲ و ۱/۵ برابر تیمار تثبیت بالشتکی، ۵/٦، ۷/۸، ۸/۰ و ٤/۵ برابر تیمار تثبیت سلولی، ۲/۸، ٤/٦، ۵/۳ و ۲/۳ برابر تیمار زمین‌پارچه، ۲/۳، ٤/۰، ٤/۰ و ۱/۸ برابر تیمار چپر مرده و ۲/۹، ۵/۲، ۸/۰ و ۳/۰ برابر تیمار چپر زنده بود (جدول ۳).

جدول ۲- تجزیه واریانس تأثیر تیمارهای حفاظتی و نوع ترانشه بر هدررفت مواد مغذی خاک.

Table 2. ANOVA for the effect of conservation treatments and sideslopes on loss of soil nutrient.

منبع Source	متغیر وابسته Dependent variable	مجموع مربعات Sum of square	DF	میانگین مربعات Mean square	F	سطح معنی‌داری Significance
مدل تصحیح شده Corrected model	OM	18573.81	13	1428.75	18.68	0.00
	N	247.47	13	19.04	7.02	0.00
	P	0.20	13	0.02	7.97	0.00
	K	0.63	13	0.05	14.09	0.00
عرض از مبدا Intercept	OM	81840.86	1	81840.86	107.02	0.00
	N	816.64	1	816.64	301.00	0.00
	P	0.50	1	0.50	251.62	0.00
	K	1.56	1	1.56	455.13	0.00
نوع ترانشه Sideslope type	OM	1787.52	1	1787.52	23.37	0.00
	N	6.25	1	6.25	2.30	0.14
	P	0.04	1	0.04	19.43	0.00
	K	0.11	1	0.11	31.55	0.00
تیمار حفاظتی Conservation treatment	OM	16296.48	6	2716.08	35.51	0.00
	N	170.04	6	28.34	10.44	0.00
	P	0.13	6	0.02	10.74	0.00
	K	0.45	6	0.07	21.89	0.00
تیمار حفاظتی × ترانشه Conservation × Sideslope type	OM	489.81	6	81.63	1.07	0.40
	N	71.18	6	11.86	4.37	0.00
	P	0.04	6	0.01	3.28	0.01
	K	0.07	6	0.01	3.39	0.01
خطا Error	OM	2141.33	28	76.48		
	N	75.97	28	2.71		
	P	0.05	28	0.00		
	K	0.10	28	0.00		
جمع Total	OM	102556.00	42			
	N	1140.08	42			
	P	0.76	42			
	K	2.28	42			
جمع تصحیح شده Corrected total	OM	20715.14	41			
	N	323.44	41			
	P	0.26	41			
	K	0.72	41			

OM مواد آلی، N نیتروژن، P فسفر، K پتاسیم OM: organic matter, N: Nitrogen, P: phosphor and K Potassium

هان و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که مقدار رواناب، هدررفت خاک و هدررفت نیتروزن و فسفر کل در قطعات تیمارشده با اقدامات حفاظتی به‌ترتیب ۱۹/۷۰، ۲/۰۳، ۱۰/۱۰ و ۳۵/۹۷ درصد قطعات شاهد (خاک لخت) بود (۷). این یافته با نتایج پژوهش حاضر مطابقت دارد. بای و همکاران (۲۰۲۲) گزارش کردند که تیمار پلیمری می‌تواند با افزایش ویژگی‌های ماکرو خاک سطحی و ترویج رشد پوشش گیاهی از شیب‌ها محافظت کند (۱۹). هدررفت مواد مغذی در قطعات شاهد می‌تواند با فقدان اقدامات مدیریت فرسایش مرتبط باشد که منجر به زیان اقتصادی به اکوسیستم نیز می‌گردد (۲۹). فسفر از یک سو جزء عناصر مهم در رشد گیاهان و حیات جانداران بوده و از سوی دیگر از عوامل مهم در آلودگی منابع آب و مغذی شدن آن به‌شمار می‌آید. فضلی و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهش‌های خود در حوزه آبخیز کجور دریافتند که با افزایش میزان فرسایش خاک مقدار هدررفت فسفر نیز به‌طور معنی‌داری افزایش می‌یابد (۱۰). در پژوهش حاضر، تیمار تثبیت سلولی به میزان ۸۲/۲ درصد، بیش‌ترین کارایی را در کاهش هدررفت موادآلی خاک از سطح ترانشه‌های جاده‌های جنگلی داشت. بعد از تیمار تثبیت سلولی تیمارهای چپر زنده و زمین‌پارچه به ترتیب به میزان ٦٦/١ درصد و ٦٣/٧ درصد سبب کاهش هدررفت موادآلی خاک شدند. در رابطه با هدررفت ازت، فسفر و پتاسیم خاک نیز تیمارهای تثبیت سلولی و چپر زنده بیش‌ترین کارایی را داشتند. پوشش گیاهی از دیرباز به‌عنوان یک عامل مهم در کنترل رواناب سطحی و جلوگیری از فرسایش خاک شناخته شده است. این یافته با نتایج پژوهش‌های گوبینات و همکاران (۲۰۲۱) مطابقت دارد. آن‌ها نشان دادند که ریشه علف لیمو در ماتریکس خاک باعث بهبود پایداری خاک می‌شود. در نتیجه، ریشه‌های گیاهی مورد مطالعه می‌توانند مواد ارزان‌قیمتی برای بهبود پایداری دامنه‌ها، به‌ویژه در مناطق آسیب‌دیده از زمین لغزش باشند (١٤).

ژو و همکاران (٢٠٠٦) در پژوهش‌های خود نشان دادند که نرخ فرسایش خاک همبستگی خطی منفی و معنی‌داری با پوشش گیاهی دارد. گیاهان با افزایش دادن ظرفیت نفوذپذیری خاک و ایجاد ناهمواری‌های سطحی (به کمک شاخ و برگ) از میزان انرژی جنبشی قطرات باران و جریانات سطحی حاصل از آن می‌کاهند (٢٦). کم‌ترین کارایی با مقدار ٤٢/٢ درصد مربوط به تیمار تثبیت بالشتکی بود. در مجموع تیمار تثبیت سلولی و چپر زنده کارآمدترین تیمارها و تیمار خاک‌پوش مایع و تثبیت بالشتکی ناکارآمدترین تیمارها به‌منظور کنترل هدررفت عناصر غذایی خاک از سطح ترانشه‌های جاده‌های جنگلی بودند (جدول ٤). پرهیزکار و همکاران (٢٠٢٢) بیان نمودند پژوهش‌های کمی برای ارزیابی اثربخشی خاک‌پوش مایع در کنترل فرسایش خاک انجام شده است و نمی‌توان روی آن قضاوت دقیقی داشت (١٥). برودا و همکاران (٢٠١٧) برای حفاظت موقت از ترانشه‌های پرشیب در کشور لهستان، از بالشتک‌های پشمی استفاده کردند. نتایج نشان‌داد که این زمین‌پارچه‌ها پتانسیل حفاظتی خود را حداقل برای یک فصل رویش حفظ کردند، اما با گذشت زمان تجزیه شدند و با آزادسازی نیتروژن، به حاصلخیزی خاک و استقرار بهتر پوشش گیاهی کمک کردند (٢٧). کارآمدی مطلوب تیمار تثبیت سلولی در پژوهش‌های فخاری و همکاران (٢٠١٩) و غلامی و همکاران (١٤٠٠) هم به اثبات رسیده است (١٦ و ٣٠). فخاری و همکاران (٢٠١٩) برای مقابله با فرسایش خاک ترانشه خاکریزی جاده‌های جنگلی، از دو نوع ژئوتکستایل طبیعی شامل خرده‌چوب و کاه برنج و روش بیومکانیکی تثبیت سلولی با توسکا و بید در ٣٦ قطعه نمونه هشت مترمربعی با سه تکرار استفاده کردند (٣٠).

جدول ۳- مقایسه هدررفت مواد مغذی خاک از ترانشه‌های جاده‌های جنگلی در تیمارهای مختلف.

Table 3. Comparison of the loss of soil nutrient from road sideslopes in different treatments.

K ($mg\ m^{-2}$)	P ($mg\ m^{-2}$)	N ($mg\ m^{-2}$)	OM ($mg\ m^{-2}$)	نوع ترانشه Sideslope	تیمار Treatment
0.03 a	0.04 a	2.20 b	7.20 b	ترانشه خاکریزی Fill slope	خاک‌پوش مایع Hydromulch
0.02 a	0.05 a	5.30 a	12.00 a	ترانشه خاکبرداری Cutslope	
0.05	0.09	7.50	19.20	جمع Total	
0.03 a	0.03 a	1.90 a	6.20 b	ترانشه خاکریزی Fill slope	تثبیت بالشتکی Absorption bag
0.03 a	0.02 a	2.00 a	17.50 a	ترانشه خاکبرداری Cutslope	
0.06	0.05	3.90	23.70	جمع Total	
0.01 a	0.01 a	0.60 a	3.20 a	ترانشه خاکریزی Fill slope	تثبیت سلولی Geo-cell
0.01 a	0.01 a	0.70 a	4.10 a	ترانشه خاکبرداری Cutslope	
0.02	0.02	1.60	7.30	جمع Total	
0.01 a	0.01 a	0.90 b	5.60 b	ترانشه خاکریزی Fill slope	زمین‌پارچه Geo-textile
0.03 a	0.02 a	1.80 a	9.30 a	ترانشه خاکبرداری Cutslope	
0.04	0.03	2.70	14.90	جمع Total	
0.02 a	0.02 a	1.10 b	6.50 b	ترانشه خاکریزی Fill slope	چپر مرده Dead hedge
0.03 a	0.02 a	2.00 a	11.30 a	ترانشه خاکبرداری Cutslope	
0.05	0.04	3.10	17.80	جمع Total	
0.01 a	0.01 a	0.80 b	5.20 b	ترانشه خاکریزی Fill slope	چپر زنده Alive hedge
0.02 a	0.01 a	1.60 a	8.70 a	ترانشه خاکبرداری Cutslope	
0.03	0.02	2.40	13.90	جمع Total	
0.05 a	0.07 a	4.20 b	12.20 b	ترانشه خاکریزی Fill slope	شاهد Control
0.04 a	0.09 a	8.30 a	28.80 a	ترانشه خاکبرداری Cutslope	
0.09	0.16	12.50	41.00	جمع Total	

حروف مختلف هر ستون طبق آزمون LSD در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری را نشان می‌دهد. OM مواد آلی، N نیتروژن، P فسفر، K پتاسیم

Different letters in a column shows significant difference at probability level of 5%. OM: organic matter, N: Nitrogen, P: phosphor and K Potassium

نتایج پژوهش‌های فخاری و همکاران (۲۰۱۹) نشان داد که تیمارهای خرده‌چوب و کاه برنج به‌ترتیب سبب کاهش ۱۱ و ۲۳ درصدی غلظت رسوب شد. روش بیومکانیکی تثبیت سلولی با توسکا و بید نیز به‌ترتیب کاهش ۵۳/۵۲ و ٤٦/۲۲ درصدی غلظت رسوب را در پی داشت (۳۰). هم‌چنین بررسی و پایش تیمارهای مختلف حفاظت خاک شامل کیسه‌های جذب آب، چپر مرده و روش تثبیت سلولی نشان داد که استفاده از تیمار تثبیت سلولی می‌تواند در کاهش میزان رسوب‌دهی جاده‌های جنگلی اثر معنی‌داری داشته باشد (۳۱). تثبیت سلولی یک ساختار لانه زنبوری سه بعدی و پلیمری است که از

سلول‌های مربع یا مثلثی تشکیل شده است. با توجه به اثر محصور شدن و ساختار لانه زنبوری، سلول‌ها بارها را در سطح بزرگ‌تر خود پخش می‌کند و در نتیجه ظرفیت باربری خاک را افزایش می‌دهد. تثبیت سلولی در زمینه‌های مختلف مهندسی عمران از جمله افزایش ظرفیت باربری سازه‌های نگهدارنده، پایه‌ها، جاده‌ها و راه‌آهن، کنترل فرسایش شیب‌های تند و سواحل رودخانه‌ها و تقویت زمین‌های نرم استفاده می‌شود (۳۲). لازم به ذکر است که در پژوهش حاضر با گذشت زمان پوشش گیاهی به‌طور طبیعی در درون سلول‌ها مستقر شد.

جدول ٤- کارایی تیمارهای حفاظتی در کاهش هدررفت مواد مغذی خاک.

Table 4. Effectiveness of conservation treatments in soil nutrient loss reduction.

تیمارهای حفاظتی Conservation treatment	کارایی (درصد) Effectiveness (%)				
	OM	N	P	K	Mean
خاک‌پوش مایع Hydromulch	53.20	40.00	43.70	44.40	45.30
تثبیت بالشتکی Absorption bag	42.20	68.80	68.70	33.30	53.20
تثبیت سلولی Geo-cell	82.20	87.20	87.50	77.80	83.70
زمین‌پارچه Geo-textile	63.70	78.40	81.20	55.60	69.70
چپر مرده Dead Hedge	56.60	75.20	75.00	44.40	62.80
چپر زنده Alive hedge	66.10	80.80	87.50	66.70	75.20

OM: organic matter, N: Nitrogen, P: phosphor and K Potassium

نتیجه‌گیری کلی

روش‌های تثبیت خاک می‌توانند باعث نگهداشت عناصر غذایی خاک، آماده‌سازی بستر مناسب برای رویش مجدد گیاهان بومی، حفظ میکروارگانیسم‌های خاک و افزایش مقاومت ساختمان جاده با حداقل هزینه‌ها شوند. توانایی شیوه‌های حفاظت خاک در جلوگیری از رواناب، رسوبات و تلفات مواد مغذی متفاوت است و این مورد تا حدود زیادی به شرایط اقلیمی منطقه وابسته است. در پژوهش حاضر دو تیمار تثبیت سلولی و چپرزنده برای مناطقی که بارندگی کم (کم‌تر از ۳۰ میلی‌متر) و خاک دارای نفوذپذیری است، مناسب تشخیص داده شد. تیمار تثبیت سلولی با ساختار دوبعدی و تیمار چپر زنده با ایجاد پوشش‌های سطحی (تاج پوشش گیاه)، جانبی و عمقی (توسعه ریشه‌ها) توانستند بیش‌ترین کارآمدی را در جلوگیری از هدررفت عناصر غذایی خاک از خود نشان دهند. بدین‌ترتیب می‌توان با ارزیابی جامع روش‌های مختلف زیست‌مهندسی که ماحصل این پژوهش بود از به کار بستن روش‌های ناکارآمد اجتناب کرد و به حفظ ذخایر غذایی خاک جنگل که تضمین‌کننده پایداری توده‌ها، امنیت غذایی و تنفسی بشر و بقای موجودات زنده است، کمک نمود.

تقدیر و تشکر

در پایان بر خود لازم می‌دانیم از آقای دکتر ایوب رضایی مطلق که در پیاده‌سازی تیمارها زحمات زیادی کشیدند، تقدیر و تشکر نماییم.

داده‌ها و اطلاعات و دسترسی

مبنای داده‌ها و اطلاعات مقاله حاضر، طرح پژوهشی نویسنده اول با عنوان بررسی کارایی برخی فنون زیست مهندسی در کنترل فرسایش خاک ترانشه‌های رانشی جاده‌های جنگلی است. این داده‌ها با مکاتبه با نویسنده مسئول قابل دسترسی است.

تعارض منافع

در این مقاله، تعارض منافعی وجود ندارد و این مسأله مورد تأیید همه نویسندگان است.

مشارکت نویسندگان

مشارکت نویسندگان در این متن به شکل ذیل است: نویسنده اول: تهیه و آماده‌سازی داده‌ها، انجام محاسبات، تهیه پیش‌نویس مقاله، نویسنده دوم: طرح تحقیق و روش‌شناسی، اصلاح و نهایی سازی مقاله، نظارت تحقیق.

اصول اخلاقی

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این اثر علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آن‌ها می‌باشد.

حمایت مالی

این پژوهش در قالب طرح پژوهشی که توسط صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (بنیاد ملی علم ایران) به شماره ۴۰۰۰۱۵۵ تامین اعتبار شده است، انجام گرفته است که بدین‌وسیله نگارندگان مراتب سپاس و قدردانی خود را ابراز می‌دارند.

منابع

1. Ramaei, R. A. (2015). The effect of rainfall intensity and slope on infiltration, runoff, soil loss and nutrient elements of rainfed fields (case study: Kalaleh region, Golestan province). Master's thesis, Tarbiat Modares University. 85 p. [In Persian]
2. Han, Y., Feng, G., & Ouyang, Y. (2018). Effects of Soil and Water Conservation Practices on Runoff, Sediment and Nutrient Losses. *Water*. 10, 1-13.
3. Mburqai, N. (2019). Estimation of the function value of protecting soil nutrients in forest ecosystems. *Environmental Research*. 1 (2), 12-3.
4. Mesele, S. A., Amegashie, B. K., Quansah, C., & Adigum, J. K. (2016). Soil and nutrients losses under deifferent management practices in Ghana. *Acta Agrophysica*. 23 (4), 633-647.
5. Larsen, M. C., & Parks, J. E. (1997). How wide is a road? The association of roads and mass-wasting in a forested montane environment. *Earth Surf Process Landform*. 22, 835-48.
6. Lang, A. J. (2016). Soil Erosion from forest haul roads at stream crossings as influenced by road attributes. Ph.D. thesis in Forest Resources and Environmental Conservation, Virginia Polytechnic Institute and State University, USA. 158p.
7. Han, Y., Yang, P., & Wang, Y. (2015). Effect of level terraces of different widths on slope erosion and nutrient losses under rainfall condition. *Fresenius Environment Bulletin*. 24, 3274-3280.
8. Khazaei, M., Sadeghi, S. H. R., Mirnia, S. Kh., & Yazdani Moghadam, Y. (2013). The effect of forest destruction on the loss of soil nutrients and sediment in the watershed of Kajur forest (Case study: Educational and research forest of Tarbiat Modares University). *Natural Ecosystems of Iran*. 3 (2), 1-12. [In Persian]
9. Adimassu, Z., Langan, S., Johnston, R., Mekuria, W., & Amede, T. (2017). Impacts of Soil and Water Conservation Practices on Crop Yield, Run-off, Soil Loss and Nutrient Loss in Ethiopia: Review and Synthesis. *Environmental Management*. 59, 87-101.

10. Fazli, S., Mirnia, S. KH., & Noor, H. (2011). Effect of soil erosion on available phosphorus losses in a Hyrcanian watershed. *Environmental Erosion Research J.* 1 (2), 43-52. [In Persian]
11. Panahi, M. (2005). Economic valuation of Caspian forests. Ph.D. thesis Tehran University, 294 p.
12. Shariat Jafari, M. (1996). Landslides (basics and principles of stability of natural slopes). Saze Publications. 281 p. [In Persian]
13. Shao, Q., Gu, W., Dai, Q. Y., Makoto, S., & Liu, W. (2014). Effectiveness of geotextilemulches for slope restoration in semi-arid northern China. *Catena*. 116, 1-9.
14. Gobinath, R., Ganapathy, G.P., & Akinwumi, I.I. (2021). Stabilisation of natural slopes using natural plant root as reinforcing agent. Materials Today: Proceedings. 39 (1), 493-499.
15. Parhizkar, M., Shabanpour, M., Lucas-Borja, M., & Antonio Zema, D. (2021). Hydromulch roots reduce rill detachment capacity by overland flow in deforested hillslopes. *J. of Hydrology*. 598, 112-119.
16. Gholami, Z., Parsakhoo, A., Lotfalian, M., & Rezaei motlagh, A. (2021). Effect of Some Bioengineering Treatments on Sediment Yield from the Cut Slopes of Forest Roads. *Environmental Erosion Research J.* 11 (4), 122-140. [In Persian]
17. Keivan Behjou, F., Hashemian, A., Panahi M., & Hassanzadeh, E. (2016). Economic Valuation of Soil Nutrients in Shimbars Forest Protected Area Using Replacement Cost Farshad. Environmental Sciences. 14 (1), 137-146. [In Persian]
18. Yousefi, S., Moradi, H., Boll, J., & Schönbrodt-Stitt, S. (2016). Effects of road construction on soil degradation and nutrient transport in Caspian Hyrcanian mixed forests. *Geoderma*. 284, 103-112.
19. Bai, Y., Liu, J., Xiao, H., Song, Z., Ma, K., & Deng Y. (2023). Soil stabilization using synthetic polymer for soil slope ecological protection. Engineering Geology. 321, 107-115.
20. Cairns, J. (1994). Rehabilitating Damaged Ecosystems. Ann Arbor: Lewis Publishers. **ISBN: 1-56670-043-4,** 413 p.
21. Arnaez, J., Larrea, V., & Ortigosa, L. (2004). Surface runoff and soil erosion on unpaved forest roads from rainfall simulation tests in northeastern Spain. *Catena*. 57, 1-14.
22. Lotfalian, M., Yousefi babadi, A., & Akbari, H. (2019). Impacts of soil stabilization treatments on reducing soil loss and runoff in cutslope of forest roads in Hyrcanian forests. *Catena*. 172, 158-162.
23. Najafian Saraji, L. (2009). The effect of pasture vegetation on soil erosion using a rain simulator. Master's thesis of the rangeland department, Mazandaran University, Sari Faculty of Natural Resources. 88 p. [In Persian]
24. Lewis, L. (2000). Soil Bioengineering an Alternative for Roadside Management. United States Department of Agriculture. *Forest Service*. 43p.
25. Luo, H., Zhao, T., Dong, M., Gao, J., Peng, X., Guo, Y., Wang, Z., & Liang, C. (2013). Field studies on the effects of three geotextiles on runoff and erosion of road slope in Beijing, China. *Catena*. 109, 150-156.
26. Xue, D., & Tisdell, C. (2001). Valuing ecological functions of biodiversity in changbaishan Mountain Biosphere Reserve in Northeast China. *Biodiversity and Conservation*. 10, 467-481.
27. Broda, J., Grzybowska-Pietras, J., Gawłowski, A., Rom, M., Przybylo, S., & Laszczak, R. (2017). Application of wool geotextiles for the protection of steep slopes. Procedia Engineering. 200, 112-119.
28. Nathan, O.O., Monicah, M., Jayne, M.N., Isaya, S., George, N., & Daniel, M.N. (2022). Nutrient and organic carbon losses by erosion, and their economic and environmental implications in the drylands of Kenya. *Environmental challenges*. 7, 100-119.
29. Jayanthi, V., Soundara, B., Sanjaikumar, S.M., Siddharth, M., Shree, S., & Pooja Ragavi, S. 2022. Influencing Parameters

on experimental and theoretical analysis of geocell reinforced soil. Materials Today: *Proceedings*. 66 (3), 1148-1155.

30. Fakhari, M.A., Lotfalian, M., Hosseini, S.A., & Khaledi Darvishan, A. (2019). Using wood-shred, rice-straw and brush-wood-dams with planting seedlings to runoff and erosion control in a forest road fill slope. *Croatian J. of Forest Engineering*. 40 (2), 327-339.

31. Keivan Behjou, F., Hashemian, A., Panahi, M., & Hassanzadeh, E. (2016). Economic Valuation of Soil Nutrients in Shimbars Forest Protected Area Using Replacement Cost Farshad. *Environmental Sciences*. 14 (1), 137-146. [In Persian]

32. Parsakhoo, A., Jajouzadeh, M., & Rezaee Motlagh, A. (2018). Effect of Hydromulch Binders on Reduction of Embankment Induced Soil Erosion and Sediment Concentration. *Ecopersia*. 6 (3), 179-186.